

Evolution de la flexuosité dans les tiges de douglas

H. POLGE et A. PERRIN

*I.N.R.A., Station de Recherches sur la Qualité des Bois
Centre de Recherches forestières, Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

Dans une expérience portant sur 3 jeunes douglas, on a repéré dans l'espace les limites de cernes successifs, à l'aide d'un système de coordonnées tri-rectangulaires, rapportées à un plan de sciage longitudinal, un plan perpendiculaire au premier et également parallèle au fil du bois, et une série de plans transversaux équidistants de 40 cm.

On observe, par 2 méthodes de mesure différentes, une diminution de la flexuosité de la moelle vers l'écorce : en outre, les cernes sont plus larges sur le rayon correspondant au côté comprimé, et il existe une corrélation très étroite entre l'excentricité et la pente du billon au-dessus du point de mesure.

1. Introduction

Savoir comment évolue dans le temps la flexuosité des tiges des arbres forestiers est important, aussi bien pour le sylviculteur, qui pourrait ainsi apprécier l'opportunité de conserver, ou, au contraire, d'enlever en éclaircie, les individus affectés d'une médiocre rectitude, que pour l'améliorateur, qui disposerait de bases solides pour attribuer, dans le calcul des indices de sélection, un poids plus ou moins élevé à ce défaut, suivant qu'il risque de s'aggraver, ou, à l'opposé, de s'estomper avec l'âge.

Or, il n'existe, sauf erreur, aucune référence bibliographique sûre concernant ce difficile problème. La flexuosité est certes liée au bois de réaction, dont la littérature traite abondamment, mais la connaissance des lois, au reste fort complexes, qui régissent la formation du bois de compression chez les résineux, et de tension chez les feuillus, ne suffit pas à prévoir l'évolution d'année en année des tiges flexueuses. Contrairement à une opinion répandue, par exemple, la largeur des cernes, beaucoup plus grande dans le bois de compression des conifères que dans le bois normal, ne fournit pas en elle-même une piste valable, et n'explique même pas le simple redressement des tiges penchées, qui semble plutôt dû, anatomiquement, à un taux de divisions cellulaires pseudotransverses supérieur, et, mécaniquement, à l'existence de contraintes liées au bois de compression.

Il faut par ailleurs se garder de simples impressions visuelles : les tiges âgées paraissent généralement plus rectilignes que les plus jeunes, mais cela peut résulter d'un

phénomène s'apparentant à une illusion d'optique, une flèche d'un centimètre sur une longueur d'un mètre par exemple apparaissant plus marquée sur un brin de 5 cm de diamètre que sur une bille de 60 cm.

La seule façon sûre de connaître l'évolution de la flexuosité consisterait à la mesurer effectivement en des points bien repérés au cours des années successives, et d'attendre la fin de la période d'expérimentation, obligatoirement longue si l'on veut avoir des résultats significatifs, pour procéder à l'analyse des résultats. On a songé, dans la recherche dont il est rendu compte ici, à raccourcir ce délai, en substituant aux variations dans le temps celles que l'on peut observer dans l'espace-arbre, c'est-à-dire en suivant les modifications de forme des accroissements successifs à l'intérieur d'un même individu. Cela nécessite la réalisation d'analyses de tiges d'un type particulier dans lesquelles il est nécessaire, non seulement de déterminer les variations de largeur des cernes à différents niveaux, mais encore, ce qui est beaucoup plus délicat, d'en repérer géométriquement dans l'espace les limites.

2. Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 3 billes de pied de douglas à forte flexuosité fournies par la Station d'Amélioration d'Orléans. Chacune d'elles a été tronçonnée, à partir de la découpe inférieure en 3 billons d'environ 2,40 m, qui ont ensuite été débités longitudinalement en demi-billons à l'aide d'une scie à ruban à table mobile (fig. 1). Les plans de débit ont été déterminés, au coup par coup, en fonction d'un double impératif : éviter que, d'une découpe à l'autre, le trait de scie ne passe à l'extérieur des billons, obtenir un positionnement sur la table offrant le maximum de sécurité lors du sciage. Il n'a pas été possible, en raison de la forte flexuosité des tiges, de faire en sorte que ces plans se confondent pour les 3 billons issus d'un même arbre, qui ont, dès lors, dû être analysés séparément.

Une ligne de référence ZZ' joignant les découpes supérieure et inférieure en restant toujours à l'intérieur de la grume a été tracée au même emplacement sur les faces des 2 demi-billons de part et d'autre du trait de scie. Les billons reconstitués ont ensuite été tronçonnés suivant des plans perpendiculaires à cette ligne, espacés d'environ 40 cm. Sur chaque découpe a été matérialisée une droite perpendiculaire au trait de scie et passant par l'intersection O_n du plan de débit et de la ligne de référence. On a ainsi obtenu sur chacune d'elles 2 axes orthogonaux XX' et YY' par rapport auxquels ont été relevées les coordonnées des 2 points d'abscisses maximale et minimale, et des 2 points d'ordonnées maximale et minimale de chaque cerne représenté au niveau considéré. Celles-ci ont été reportées, en vraie grandeur, sur des feuilles de papier millimétré correspondant, l'une au plan $XX'-ZZ'$, l'autre au plan $YY'-ZZ'$, cependant qu'une échelle de 5 cm par m était utilisée pour la coordonnée Z représentant les niveaux des découpes transversales successives d'un même billon. On dispose ainsi de 18 graphiques (3 arbres \times 3 billons \times 2 plans) permettant de suivre les variations de cerne à cerne de la flexuosité, dans 2 plans perpendiculaires (voir, à titre d'exemple, en figure 2, le graphique correspondant au billon intermédiaire de l'arbre n° 2, dans le plan de sciage).

On a mesuré, dans chacun des 4 demi-plans de référence, les différences d'abscisse entre un niveau donné et les niveaux supérieur et inférieur qui l'encadrent, d'une part

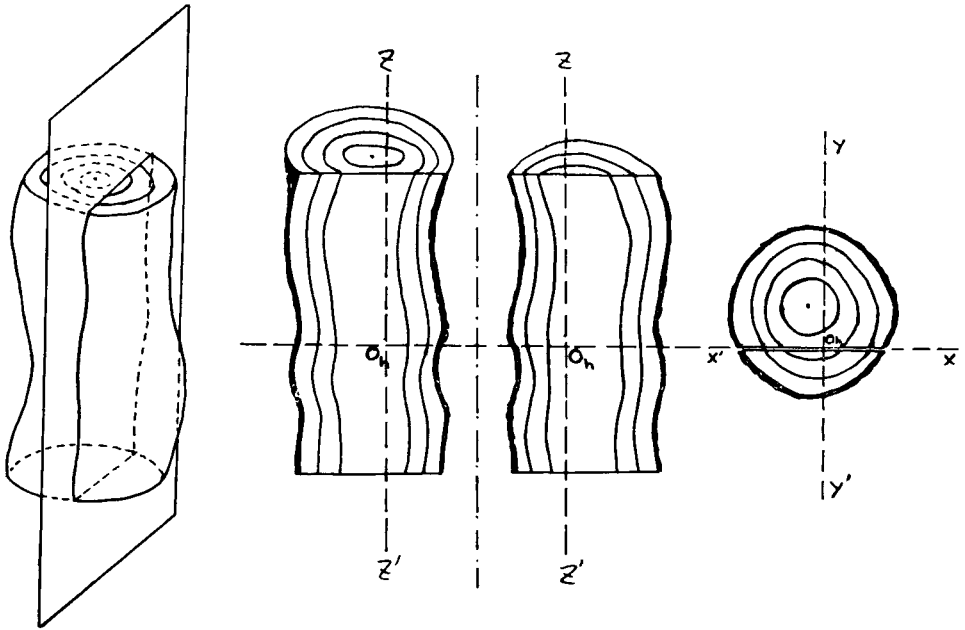


FIG. 1

*Schéma de débit et plans des coordonnées.
Sawing diagram and plan of the coordinates.*

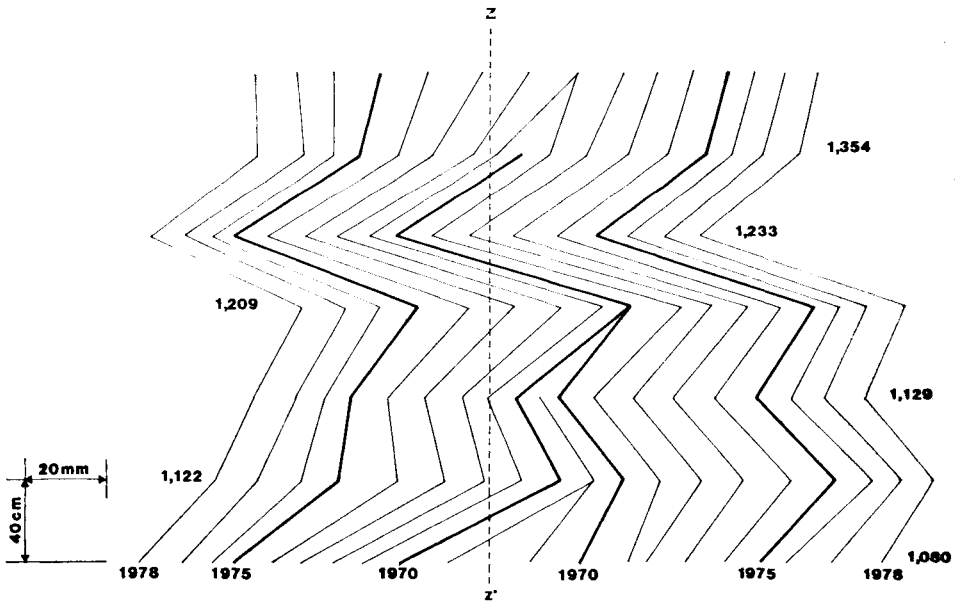


FIG. 2

*Représentation schématique
des limites de cernes d'un billon dans un des deux plans de référence.
Diagram of the annual ring boundaries of a billet in one of the reference planes.*

pour la première année présente côté moelle, et d'autre part pour 1978, dernier cerne produit. Ces différences ont été calculées pour tous les niveaux, sauf ceux correspondant à la jonction entre billons d'un même arbre, où les plans de référence changeaient (elles représentent en fait les flèches par rapport à une base de 80 cm centrée sur les niveaux de mesure successifs). On a ensuite fait la sommation de toutes les flèches relevées par demi-plans sur toute la longueur des 3 billons de chaque arbre, suivant la formule :

$$\Sigma F = \sum_{i=0}^{i=n} \left| R_{i+1} - \frac{R_i + R_{i+2}}{2} \right|$$

où n est le nombre de niveaux de mesure (20 pour les arbres 1 et 2, 19 pour l'arbre 3), et R les valeurs successives de l'abscisse aux divers niveaux.

L'ensemble de la méthodologie utilisée appelle un certain nombre de réserves qui seront évoquées plus loin dans le paragraphe « Discussion et conclusion ».

3. Résultats

Le tableau 1 donne l'évolution de la somme des flèches ainsi calculée entre les deux cernes extrêmes, côté moelle et côté écorce :

TABLEAU 1

*Evolution de la flexuosité de la moelle vers l'écorce.
Evolution of the bole sinuosity from pith to bark.*

	Somme des flèches (en cm)		Différence
	Cerne moelle	Cerne 1978	
Arbre n° 1 - Demi-plan XZ	424,75	323,75	— 101,00
Demi-plan X'Z	423,75	304,50	— 119,25
Demi-plan YZ	347,25	263,75	— 83,50
Demi-plan Y'Z	339,00	277,50	— 61,50
TOTAL	1 534,75	1 169,50	— 365,25
Arbre n° 2 - Demi-plan XZ	306,00	232,25	— 73,75
Demi-plan X'Z	286,25	251,50	— 34,75
Demi-plan YZ	261,00	174,50	— 86,50
Demi-plan Y'Z	202,50	155,50	— 47,00
TOTAL	1 055,75	813,75	— 242,00
Arbre n° 3 - Demi-plan XZ	195,25	192,50	— 2,75
Demi-plan X'Z	215,50	168,50	— 47,00
Demi-plan YZ	313,00	286,00	— 27,00
Demi-plan Y'Z	307,75	267,50	— 40,25
TOTAL	1 031,50	914,50	— 117,00

Somme : *sum.*
Flèche : *versed sine.*
Cerne : *annual ring.*

Moelle : *pith.*
Arbre : *tree.*
Demi : *half.*

Trois observations s'imposent :

— Pour les 3 arbres et les 4 demi-plans où elle a été mesurée, la flexuosité diminue de la moelle vers l'écorce.

— Dans la comparaison entre arbres, cette diminution est d'autant plus marquée que la sinuosité initiale était plus forte.

— Sauf pour l'arbre 1, et, dans le plan YY'Z, pour l'arbre 3, des différences importantes apparaissent dès le premier cerne côté moelle entre les deux demi-plans opposés ; selon les cas, ces écarts augmentent ou diminuent avec l'âge, ce qui signifie que les variations de la forme au cours du temps peuvent ne pas être les mêmes sur les deux génératrices appartenant à un même plan diamétral.

Une autre modalité d'expression de la flexuosité a été étudiée : elle consiste à totaliser les écarts-types des abscisses par billon, pour les 4 demi-plans de référence, au cours des années successives (depuis la première représentée sur toute la longueur du billon, jusqu'à 1978) ; le nombre d'années sur lequel peut porter l'analyse variant d'un billon à l'autre, l'évolution est exprimée en pourcentage de la différence entre les écarts-types extrêmes rapportée à l'écart-type initial, divisé par ce nombre d'années (tableau 2).

On constate à nouveau une diminution globale de la flexuosité pour les 3 arbres, mais le numéro 1, qui avait le plus amélioré sa forme avec la méthode précédente, est au contraire ici le dernier ; il ne dégage une tendance négative qu'au niveau de la moyenne des trois billons, deux d'entre eux apparaissant même plus déformés dans les cernes périphériques que dans les cernes centraux !

Cette opposition apparente, qui ne saurait masquer une bonne convergence d'ensemble des résultats, ne doit pas surprendre, car les deux méthodes rendent compte en fait de phénomènes quelque peu différents : la première renseigne davantage sur les variations locales de courte amplitude de la rectitude, puisque la position de chaque point n'est comparée qu'à la moyenne de celles des points immédiatement supérieur et inférieur (un billon présentant une courbure générale forte mais très régulière ne donnerait, suivant ce mode de calcul, qu'une valeur de flexuosité relativement faible) ; la seconde fournit une meilleure information sur les courbures de grand rayon affectant toute la longueur des billons, mais présente un léger risque d'intégrer un effet parasite au cas où une évolution générale de la conicité de la tige serait intervenue dans l'intervalle de temps considéré (cette éventualité ne serait à prendre sérieusement en considération que si la compétition entre tiges se traduisait par une forte diminution des largeurs de cernes à la partie inférieure des arbres, ce qui n'est jamais le cas ici).

Liaison avec le bois de compression

On sait que le bois de réaction des résineux se forme à la partie inférieure des tiges penchées, et se caractérise par des cernes plus larges que le bois normal. Il n'est malheureusement pas possible de connaître la position par rapport à la verticale *in situ* des axes de référence ZZ', déterminés, billon par billon, il convient de le rappeler, uniquement en fonction des nécessités du sciage. On peut cependant admettre que ces axes ne s'écartent pas trop de la verticale, et, dans cette hypothèse, essayer de voir si, à la partie inférieure des ondulations du tronc, les accroissements manifestent effectivement une tendance à être plus larges que du côté opposé. A cet effet on a formé, à chaque niveau, et dans chacun des deux plans de référence, le rapport du rayon à l'extrémité duquel la génératrice en direction du niveau supérieur s'éloigne (ou, dans les cas où il y a ambiguïté, s'éloigne le plus) de l'axe, au rayon opposé.

TABLEAU 2

Somme des écarts-types par billon pour les accroissements annuels successifs.
Sum of the standard errors per billet for the successive annual rings.

	Années										Variation de l'écart-type en % par an	
	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977		1978
Arbre n° 1 - Billon inférieur	74,65	75,86	75,42	76,14	76,60	76,92	77,14	76,70	76,65	76,83	78,68	+ 0,49
Billon intermédiaire				136,06	135,72	130,25	126,88	123,35	119,80	114,81	111,02	- 2,30
Billon supérieur						59,59	62,73	63,20	63,20	63,62	63,36	+ 1,27
Arbre n° 2 - Billon inférieur	85,60	86,65	85,54	84,51	84,24	82,24	81,33	82,11	82,81	82,73	82,03	- 0,38
Billon intermédiaire				92,30	89,45	85,73	82,05	78,83	75,68	73,00	71,55	- 2,81
Billon supérieur						89,72	88,42	87,17	85,73	83,31	83,31	- 1,43
Arbre n° 3 - Billon inférieur	88,42	86,75	86,82	87,25	86,15	84,88	84,41	84,05	83,04	81,92	82,61	- 0,60
Billon intermédiaire				68,80	69,24	67,70	66,95	65,86	65,20	64,13	64,37	- 0,57
Billon supérieur						71,63	72,01	71,66	70,58	69,54	66,65	- 1,16

Année : year.

Inférieur : lower.

Intermédiaire : intermediate.

Supérieur : higher.

Billon : billet.

Arbre : tree.

Le diagramme de répartition des valeurs obtenues est donné en figure 3 ; on constate qu'il est très dissymétrique, avec une nette sur-représentation des rapports supérieurs à 1, ce qui correspond bien à un effet probable du bois de compression (ces rapports d'excentricité sont indiqués, à titre d'exemple, à chaque niveau, sur le graphique de la figure 2 ; ils sont, au cas particulier, toujours plus grands que l'unité).

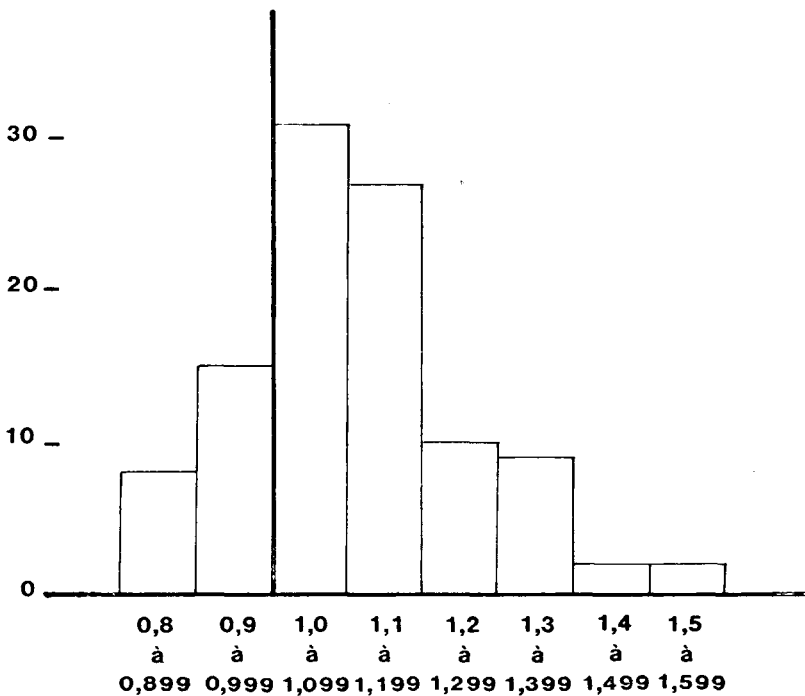


FIG. 3

Diagramme de fréquence des excentricités.

Frequency diagram of eccentricities.

De plus, si l'on associe à chaque rapport la pente du dernier accroissement côté comprimé, entre le niveau considéré et le niveau supérieur, on trouve un coefficient de corrélation de + 0,55, significatif au seuil de 1 p. 1 000. Ainsi, non seulement les accroissements sont plus larges du côté vers lequel penche l'arbre à un endroit donné de la tige, mais de plus, le rapport d'excentricité augmente statistiquement avec l'inclinaison, et cette double observation explique, en partie, la diminution de flexuosité qui se manifeste dans cette expérience.

4. Discussion et conclusion

L'étude dont il vient d'être rendu compte repose sur des bases expérimentales imparfaites. Il a déjà été fait allusion au fait que les axes de référence, liés aux conditions de réalisation pratique, n'ont pu être repérés, ni par rapport à la verticale dans l'arbre en place, ni les uns par rapport aux autres à l'intérieur d'une même tige. Par ailleurs, il est clair qu'une analyse faite au pas de 40 cm ignore ce qui se passe dans cet intervalle, et minimise donc la flexuosité (mais la tendance générale de son évolution ne devrait pas en être affectée). En outre, en se limitant à deux plans de référence perpendiculaires, on ne recueille pas toute l'information possible ; ce choix a cependant été fait car une meilleure représentation spatiale des modifications de forme eût entraîné des difficultés de traitement des données considérables, sans que cela risque de modifier de façon sensible les conclusions.

La question la plus importante que l'on peut se poser est la suivante : l'évolution de la flexuosité que l'on constate dans l'espace-arbre actuel (c'est-à-dire de cerne à cerne au moment où il est abattu) correspond-elle exactement à celle qui s'est produite au fil des années dans l'arbre vivant ? Cela n'est pas certain, car le bois de compression exerce une contrainte longitudinale tendant précisément à redresser les tiges penchées. Cette action ne peut cependant s'exercer que dans le jeune âge, car le module d'élasticité du bois adulte, notamment du bois de cœur relativement sec, est beaucoup plus élevé que celui du bois nouvellement formé, nettement plus riche en eau ; il est donc peu vraisemblable que le premier qui très rapidement forme une masse importante par rapport au second, puisse être déformé par l'apport de couches nouvelles de bois de compression au point que la rectitude du tronc en soit améliorée de façon significative. Au reste, quand bien même il en serait ainsi, cela voudrait dire que l'état actuel de flexuosité des cernes centraux serait meilleur qu'au moment de leur formation, et ainsi, l'évolution constatée maintenant par analyse de tige ne pourrait que conduire à des conclusions moins favorables que celle qu'on aurait observée à la suite de mesures sur écorce échelonnées dans le temps.

Bien que les mécanismes physiologiques en cause dans la formation des tiges des essences feuillues soient différents, on peut cependant mentionner les résultats obtenus sur le hêtre en utilisant cette dernière méthode : en 9 ans, des brins de cette essence sélectionnées dans une régénération naturelle dense et fortement éclaircis (POLGE, 1982) sont devenus significativement plus verticaux (pente moyenne de la tige ramenée de 13,5 à 3,7 cm/m) et ont vu leur flèche maximale à hauteur d'homme diminuer de 2,85 à 2,70 cm, soit une différence voisine du seuil de signification à 5 p. 100).

On peut donc dire qu'il existe une tendance générale à une amélioration de la rectitude des arbres forestiers. Le tableau 2 donne un ordre de grandeur des gains annuels que l'on peut espérer sur une variable liée à la flexuosité ; il permet surtout d'observer que, tout au moins pour les billons les plus défectueux au départ, les progrès sont continus, avec des hauts et des bas annuels certes, mais sans présenter une allure asymptotique laissant présager une prochaine stabilisation. Une expérience sur des arbres plus âgés pourrait donc conduire à une moindre sévérité à l'égard des individus flexueux au stade juvénile. Il ne faut cependant pas oublier que, même si l'on obtenait à l'état adulte des tiges présentant extérieurement une rectitude à peu près satisfaisante, elles conserveraient dans leur partie centrale des cernes flexueux, coupés en oblique lors du débit (d'où perte de résistance mécanique et risque de déformations) et, de

plus, comportant de vastes plages de bois de compression aux médiocres caractéristiques technologiques (fort retrait longitudinal, faible rendement en fibres, propriétés mécaniques peu satisfaisantes).

Une dernière conclusion intéresse l'améliorateur : sous réserve qu'il existe une bonne corrélation jeune-adulte en matière de flexuosité, il aurait tout intérêt à pratiquer la sélection pour le caractère rectitude au moment où le défaut s'exprime le mieux, c'est-à-dire au stade juvénile.

Summary

Evolution of the flexuosity in the stems of douglas fir.

Three young douglas firs are studied. The boundaries of the successive annual rings are located in space by a system of rectangular coordinates related to a longitudinal sawing plane, another plane parallel to the grain direction and perpendicular to the first one, and a series of cross-sections at an interval of 40 cm.

Two different methods of measurement show a reduction of the sinuosity from pith to bark. The rings are larger on the compressed side of the bole, and there is a very strong correlation between the eccentricity of the pith and the inclination of the billet above the point of measurement.

Reçu le 16 août 1982.

Accepté le 13 janvier 1983.

Références bibliographiques

- WARDROP A.B., DADSWELL H.E., 1950. Compression wood in conifers - A review of literature, d'après LOW A.J. *Aust. J. Sci. Res.*, **3 B**, 1-13.
- POLGE H., 1983. Essai de ligniculture du hêtre à partir de régénérations naturelles denses. *Bull. Tech. O.N.F.*, n° 14, 11-17.